УДК 621.317.329

Д.Я. ПАРШИН, М.Р. ВИНОКУРОВ

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЛОШНЫХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕД

В статье излагается подход к расчету и моделированию стационарных и квазистационарных магнитных полей, основанный на преобразовании вихревого магнитного поля в потенциальное поле.

Ключевые слова: *вихревое магнитное поле, потенциальное поле источников, токовая нить, двойной слой магнитных зарядов.*

Введение. Подход к расчету и моделированию стационарных и квазистационарных магнитных полей основан на преобразовании вихревого магнитного поля в потенциальное поле источников [1-3]. Распространение понятия скалярного магнитного потенциала на области, занятые токами, позволяет заменить вихревые источники поля скалярными источниками, так как электрические токи заменяются магнитными зарядами, являющимися скалярными величинами.

Постановка задачи. В основу метода положен известный факт, заключающийся в представлении контура, образованного тонкой замкнутой токовой нитью, эквивалентной в отношении магнитного поля, вне его двойным слоем магнитных зарядов, опирающимся на этот контур.

Метод решения. При замене токового контура двойным слоем магнитных зарядов пространство разбивается на две области: область I, лежащую между слоями двойного слоя, и область II — всю остальную. В любой точке области II скалярные потенциалы, определенные токовым контуром и двойным слоем зарядов, совпадают. Поле в этой области, таким образом, рассчитывается правильно при замене токового контура двойным слоем магнитных зарядов. Однако в области I (внутри двойного слоя) напряженность магнитного поля отличается от истинной не только по величине, но и по направлению. Рассчитанное по магнитным зарядам поле $H_р$ в области II совпадает с истинным и можно написать $H=H_р$. В области I поле магнитных зарядов имеет направление, не совпадающее с истинным, поэтому здесь $H \neq H_р$. Таким образом, простое наложение двойных магнитных слоев не позволяет правильно определить поле в некоторой части пространства, в частности в той, где протекает электрический ток. Однако, как было показано в [2], поле в области I можно рассчитать правильно, если внутри области ввести некоторое дополнительное поле $H_о$, определяемое через заданный ток. Благодаря этому вихревое поле удается свести к потенциальному полю магнитных зарядов и рассчитать поле H в однородной, неоднородной и нелинейной средах, а также применить этот подход для решения важных практических задач.

Рассмотренному формальному подходу, связанному с введением в качестве источников поля магнитных зарядов, может быть дано соответствующее физическое толкование, заключающееся в возможности представления токового контура в виде определенной электрической модели [2]. Не-

проницаемая перегородка, соединяющая точки расположения проводников, позволяет избавиться от циклической многозначности так, что значение разности магнитных потенциалов на различных ее сторонах равно *i*, причем потенциал по всей поверхности неизменен. Электрическая модель такой системы состоит из очень тонкой непроводящей перегородки, размеры которой в определенном масштабе устанавливаются расстоянием между точками расположения токов и высотой электролита.

Нижние и верхние поверхности перегородки покрываются проводящими слоями, на которых задается разность электрических потенциалов, пропорциональная току *i*, т.е. $U=i/K_U$. Вся эта система погружается в электролит, моделирующий среду, окружающую систему с токами. При использовании моделей на основе твёрдых проводящих сред роль непроводящей перегородки может играть разрез, сделанный в этой среде. При этом эквипотенциальные линии модели соответствуют эквипотенциальным линиям скалярного магнитного потенциала, а линии тока (напряженности *E*) в модели — линиям *H* в магнитном поле.

Использование принципа наложения при моделировании нескольких систем токов (токовых контуров) приводит к тому, что наличие непроводящей перегородки и эквипотенциальных поверхностей одной системы, которых не должно быть в поле другой системы, вызывает взаимное нарушение граничных условий этих систем. Таким образом, для сохранения справедливости принципа наложения следует исключить непроводящие перегородки и сплошные эквипотенциальные поверхности, образуемые из проводников.

Снятием непроводящей перегородки ликвидируется лишь одна причина нарушения граничных условий. Для применения принципа наложения должны быть ликвидированы также и сплошные проводящие поверхности. Для этого эти поверхности необходимо разделить на элементарные поверхности $\Delta S_к$ (электроды), к которым следует подводить токи $\Delta I_к$, пропорциональные значениям напряженности стороннего электрического поля. При выборе размеров электродов, необходимого их количества следует исходить из рекомендаций, приведенных в [2].

Выводы. Применение методики преобразования вихревых магнитных полей к потенциальным полям фиктивных магнитных зарядов для расчёта и моделирования магнитных полей позволяет в целом ряде практических задач упростить математический аппарат при расчёте и моделировании магнитных полей со сложными граничными условиями.

Библиографический список

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) /В.А.Веников. – М.: Высшая школа, 1976. – 480 с.

2. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей /К.С.Демирчян. – Л.: Энергия, 1974. – 288 с.

3. Тозони О.В. Расчет трехмерных электромагнитных полей /О.В.Тозони, И.Д. Маергойз. – К.: Техніка, 1974. – 382 с.

Материал поступил в редакцию 2.06.08.

D.J.PARSHIN, M.R.VINOKUROV

DEVELOPMENT OF WAYS OF MODELLING OF VARIABLES MAGNETIC FIELDS ON THE BASIS OF CONTINUOUS CONDUCTING ENVIRONMENTS

In present article the approach to calculation and modelling of the stationary and almost stationary magnetic fields, based on transformation of a vortical magnetic field to a potential field is stated. The fact consisting in representation of a contour is put in a basis of a method, formed thin closed токовой by a string, equivalent concerning a magnetic field outside of his double layer of magnetic charges leaning on this contour.

ПАРШИН Дмитрий Яковлевич (р.1943), заведующий кафедрой «Электротехника и техническая кибернетика» РГАСХМ, профессор (2008),доктор технических наук (2007). Окончил Новочеркасский политехнический институт (1966).
Область научных интересов: автоматизация производства и робототехника.
Автор более 100 научных публикаций.

ВИНОКУРОВ Михаил Романович (р.1948), доцент кафедры «Электротехника и техническая кибернетика» РГАСХМ, кандидат технических наук (1982). Окончил Омский политехнический институт (1972).
Область научных интересов: теоретическая электротехника.
Автор 26 научных публикаций.